

④ 03C2

**TRANSMITTAL LETTER  
(General - Patent Pending)**

Docket No.  
1791

In Re Application Of: DISTEL

#plw  
5-9-02

Serial No.  
09/954,584

Filing Date  
09/17/2001

Examiner

Group Art Unit

Title: **METHOD AND APPARATUS FOR ULTRASONIC PROCESSING OF WORKPIECES**

TO THE ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS:

Transmitted herewith is:

**CERTIFIED COPY OF THE PRIORITY DOCUMENT 100 46 451.3**


in the above identified application.

- ☒ No additional fee is required.
- ☐ A check in the amount of \_\_\_\_\_ is attached.
- ☒ The Assistant Commissioner is hereby authorized to charge and credit Deposit Account No. **19-4675** as described below. A duplicate copy of this sheet is enclosed.
- ☐ Charge the amount of \_\_\_\_\_
- ☐ Credit any overpayment.
- ☒ Charge any additional fee required.

  
Signature

Dated: DEC. 7, 2001

I certify that this document and fee is being deposited  
DEC. 7, 2001 with the U.S. Postal Service as  
first class mail under 37 C.F.R. 1.8 and is addressed to the  
Assistant Commissioner for Patents, Washington, D.C.  
20231.

  
Signature of Person Mailing Correspondence

**MICHAEL J. STRIKER**

Typed or Printed Name of Person Mailing Correspondence

CC:



# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:**

100-46 451.3

**Anmeldetag:**

18. September 2000

**Anmelder/Inhaber:**

Maschinenfabrik Spaichingen GmbH,  
Spaichingen/DE

**Bezeichnung:**

Verfahren und Vorrichtung zum Ultraschallbearbeiten  
von Werkstücken

**IPC:**

B 23 K, B 29 C

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 5. Oktober 2001  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

**Der Präsident**

Im Auftrag

Stand

Karthäuserstr. 5A  
34117 Kassel  
Allemagne

Telefon/Telephone (0561) 15335  
(0561)780031  
Telefax/Telecopier (0561)780032

Maschinenfabrik Spaichingen GmbH, 78549 Spaichingen

Verfahren und Vorrichtung zum Ultraschallbearbeiten von Werkstücken

Die Erfindung betrifft ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und eine Vorrichtung der im Oberbegriff des Anspruchs 3 bezeichneten Gattung.

Verfahren und Vorrichtungen dieser Art werden insbesondere zur Verbindung von zwei  
5 Werkstücken durch Punkt-, Niet-, Zapfen- oder Flächenschweißen benutzt, wobei  
wenigstens eines der beiden Werkstücke aus einem thermoplastischen Material besteht.  
Die Werkstücke werden dabei lokal so stark erwärmt, daß sie miteinander verschmelzen.  
Die Erwärmung der Werkstücke wird dadurch bewirkt, daß eine zu mechanischen  
Schwingungen angeregte Sonotrode gegen wenigstens eines der Werkstücke gedrückt wird.  
10 Bei der Bearbeitung nur eines Werkstückes können diese Schwingungen auch dazu benutzt  
werden, das Werkstück zu verformen oder zu schneiden. Da die Sonotroden in der Regel  
mit Ultraschallfrequenzen von z. B. 20 kHz oder 35 kHz schwingen, werden derartige  
Bearbeitungsvorgänge allgemein als Ultraschallbearbeitungen bezeichnet. Das Hauptein-  
satzgebiet der beschriebenen Vorrichtungen liegt in der Bearbeitung von Kunststoffteilen,  
15 die für Gehäuse von Elektrogeräten und in besonderem Maß in der Automobilindustrie  
sowohl für Karosserieteile wie Stoßstangen als auch für Innenraumverkleidungen wie  
Türverkleidungen und Konsolen verwendet werden. Die mit dem Werkstück in Ver-  
bindung stehenden Sonotroden sind je nach Art und Material der zu bearbeitenden  
Werkstücke unterschiedlich gestaltet.

In bekannten Vorrichtungen dieser Art (DE 44 39 470 C1) werden die mechanischen  
Schwingungen von einem elektromechanischen, in der Regel aus einem piezoelektrischen

- Kristall bestehenden Konverter erzeugt, der von einem Ultraschallgenerator mit einem elektrischen Wechselstromkreis angeregt wird. Der Konverter schwingt mit einer vorgegebenen Amplitude bei einer entsprechenden Ultraschall-Resonanzfrequenz, wobei typische Werte z. B. 35 kHz für die Frequenz und 7  $\mu\text{m}$  für die Amplitude sind. Das aus
- 5 Konverter, Sonotrode und ggf. einem zwischengeschalteten Amplitudentransformationsstück bestehende Schwinggebilde ist so eingerichtet, daß es sich bei dieser Resonanzfrequenz ebenfalls in Resonanz befindet und die dem Werkstück zugeordnete Bearbeitungsfläche mit einer Amplitude von z. B. 10 - 40  $\mu\text{m}$  schwingt.
- 10 Punkt-, Niet- bzw. Zapfenschweißungen werden in der Regel dadurch ausgeführt, daß die Sonotrode auf vorgewählte Punkte oder auf einen sogenannten Schweiß- oder Nietdom des Werkstücks gedrückt wird, der an einem ersten, auf einem Amboß aufliegenden Werkstück ausgebildet ist, durch ein entsprechendes Loch eines zweiten, mit diesem zu
- 15 verbindenden Werkstücks ragt und z. B. 10 mm hoch und ggf. hohlzylindrisch ausgebildet ist. Um ein seitliches Weglaufen des bei der Ultraschallbearbeitung weich werdenden Materials des Doms zu vermeiden und eine optisch ansprechende Schweißverbindung zu erhalten, weist die Sonotrode an ihrer auf die Schweiß- oder Nietdome aufzusetzenden Bearbeitungsfläche in der Regel eine konkav gewölbte, ringförmige Erwärmungszone und eine diese ringförmig umgebende Auflagefläche auf, die sich am Ende des Schweißvor-
- 20 gangs auf das betreffende obere Werkstück auflegt und dadurch die Schweißstelle ringförmig umgibt, wobei die Ringform kreisförmig, rechteckig oder sonstwie sein kann.
- Maßgeblich für die Qualität einer auf diese Weise durchgeführten Schweißung ist u. a. der Zeitpunkt, zu dem die Zufuhr von Ultraschallenergie zur Sonotrode beendet wird. Dauert
- 25 die Energiezufuhr zu lange, können sich die ringförmigen Auflageflächen in das jeweils oben liegende Werkstück einbrennen, was aus optischen und qualitativen Gründen unerwünscht ist. Wird die Energiezufuhr dagegen beendet, bevor die Auflageflächen auf der Oberseite des betreffenden Werkstücks aufliegen, ist die Schweißung unter Umständen unvollständig mit der Folge, daß der durch die Verbindung herzustellende Form- bzw.
- 30 Kraftschluß mangelhaft ist.

Entsprechende Probleme ergeben sich bei anderen Schweißarten, insbesondere Flächenschweißungen mit Hilfe von sogenannten "Energierichtungsgebern", und anderen Ul-

traschallbearbeitungen.

Zur Sicherstellung einer ausreichenden Schweißqualität sind bereits zahlreiche Verfahren und Vorrichtungen bekannt geworden, die darauf abzielen, den richtigen Ausschaltzeitpunkt für die Energiezufuhr zu finden, aber sämtlich nicht voll befriedigen. Bekannt ist es beispielsweise, eine genau definierte Schweißdauer vorzugeben oder dem Konverter während jedes Bearbeitungszyklus eine genau definierte Energiemenge zuzuführen. Beide Verfahren arbeiten ungenau, da keine Toleranzen berücksichtigt werden können, die sich z. B. durch unterschiedlich hohe Schweißdome ergeben. Diese Verfahren führen daher nicht immer genau dann zu einem Ausschalten der Zufuhr der Ultraschallenergie, wenn die Auflagefläche der Sonotrode die Oberfläche des betreffenden Werkstücks erreicht. Entsprechende Probleme ergeben sich bei Anwendung von Vorrichtungen, bei denen der von der Sonotrode zurückzulegende Weg auf einen von der jeweiligen Schweißarbeit abhängigen absoluten Wert eingestellt oder mittels elektrischer Sensoren überwacht wird. Schließlich ist es bekannt, jeder Sonotrode einen Sensor in Form eines mechanischen Tasters zuzuordnen, der der Sonotrode vorausläuft und nach dem Aufsetzen auf die Oberseite des betreffenden Werkstücks gegen die Kraft einer Feder verschoben wird, bis er am Ende eines definierten Verstellweges mittels eines elektrischen Schalters ein Ausschaltsignal für die Energiezufuhr auslöst. Derartige Vorrichtungen ermöglichen zwar einen definierten Schweißvorgang, einen Toleranzausgleich und damit die Sicherstellung einer hohen Qualität der Schweißverbindung. Nachteilig ist jedoch, daß sie aufwendige manuelle Einstellungen erfordern, unflexibel im Hinblick auf baugleiche, jedoch aus unterschiedlichen Materialien hergestellte Werkstücke sind (z.B. bei der Herstellung von mit unterschiedlichen Materialien bespannten Innenverkleidungen für Pkw-Türen) und vor allem jeder vorhandenen Sonotrode einer Bearbeitungsstation ein eigener Taster zugeordnet werden muß, was bei der gleichzeitigen Bearbeitung einer Vielzahl von eng nebeneinander liegenden Schweißstellen zu erheblichen Platzproblemen führt.

Daneben ist es zu Qualitätskontrolle allgemein bekannt, ständig verschiedene Zustandsgrößen der eingangs bezeichneten Vorrichtung zu überwachen, z. B. die dem Konverter zugeführte Ultraschall-Leistung (DE 34 29 776 C2). Die Herstellung einwandfreier Schweißverbindungen kann allerdings auch mit einer derartigen Qualitätskontrolle nur unzureichend sichergestellt werden.

Der Erfindung liegt daher das technische Problem zugrunde, das Verfahren und die Vorrichtung der eingangs bezeichneten Gattungen dahingehend zu verbessern, daß der apparative Aufwand reduziert, im Sonotrodenbereich kein zusätzlicher Raumbedarf für Sensoren, Taster oder sonstige Hilfsmittel besteht und ein einwandfreies Schweißergebnis erzielt wird.

Zur Lösung dieser Aufgabe dienen die kennzeichnenden Merkmale der Ansprüche 1 und 3.

Die Erfindung beruht auf der durch langwierige Versuche gewonnenen Erkenntnis, daß sich beim Auflegen der Sonotroden-Auflageflächen auf die Oberseiten der betreffenden Werkstücke verschiedene Parameter bzw. Zustandsgrößen innerhalb des Ultraschallgenerators meßbar verändern. Diese Veränderungen werden erfindungsgemäß als Kriterium für die Beendigung des Schweißvorgangs und zur Erzeugung eines die Energiezufuhr beendenden Ausschaltsignals verwendet. Zusätzliche Bauteile im Bereich der Sonotroden, z. B. zum Abschalten bei Erreichen einer vorgewählten Tiefe, sind daher entbehrlich. Außerdem kann die Erfindung bei allen üblicherweise verwendeten Werkstückmaterialien angewendet werden.

Weitere vorteilhafte Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Erfindung wird nachfolgend in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen an Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Steuer- und Regelschaltung für eine Vorrichtung zur Ultraschallbearbeitung von Werkstücken;

Fig. 2 einen schematischen Querschnitt durch zwei Werkstücke, die durch Ultraschallschweißung mit Hilfe der Vorrichtung nach Fig. 1 verbunden werden sollen;

Fig. 3 einen der Fig. 2 entsprechenden Schnitt nach Durchführung der Schweißung;

Fig. 4 ein Schaubild, das die Abhängigkeit der einem Konverter der Vorrichtung nach

Fig. 1 zugeführten Ultraschall-Wirkleistung in Abhängigkeit von der Zeit darstellt;

Fig. 5 einen vergrößerten Schnitt durch die Sonotrode nach Fig. 2 und 3;

5 Fig. 6 eine Unteransicht der Sonotrode nach Fig. 5; und

Fig. 7 einen schematischen Schnitt durch eine Anordnung mit einer der Fig. 1 analogen Vorrichtung zum Flächenschweißen.

10 Fig. 1 gibt im wesentlichen die Regel- und Steuerelemente eines allgemeinen Ausführungsbeispiels der Erfindung in einer schematischen Darstellung wieder. Danach besteht ein übliches, insgesamt mit dem Bezugszeichen 1 bezeichnetes Schwinggebilde aus einem elektromechanischen, vorzugsweise piezoelektrischen Konverter 2, einer mechanisch mit diesem verbundenen Sonotrode 3 und ggf. einem zwischengeschalteten Amplitudentrans-  
15 formationsstück 4, wobei die Sonotrode 3 mit einer Bearbeitungsfläche 5 auf ein Werkstück 6 aufgesetzt werden kann, um in bekannter Weise einen Bearbeitungsvorgang, insbesondere einen Schweißvorgang durchzuführen. Das Schwinggebilde 1 ist zu diesem Zweck mit einer nicht dargestellten Vorschubeinheit gekoppelt und mittels dieser meistens senkrecht zur Werkstückoberfläche in Richtung eines Doppelpfeils  $y$  auf- und abbewegbar  
20 in einem ebenfalls nicht dargestellten Gestell montiert. Die Sonotrode 3 und ggf. das Amplitudentransformationsstück 4 sind so eingerichtet, daß das Schwinggebilde 1 bei der Resonanzfrequenz des Konverters 2 im wesentlichen mit derselben Frequenz resonant schwingt. Die Bearbeitungsfläche 5 der Sonotrode 3 schwingt dabei mit einer werkseitig festgelegten, mechanischen Schwingungsamplitude von z. b.  $7\text{ }\mu\text{m}$  bis  $30\text{ }\mu\text{m}$ . Außerdem  
25 ist der Abstand der Bearbeitungsfläche 5 vom Konverter 2 so gewählt, daß an ihr immer ein Schwingungsbauch liegt.

Vorrichtungen zur Ultraschallbearbeitung dieser Art sind allgemein bekannt (z. B. DE 34 39 776 C2, DE 42 06 584 C2, DE 44 39 470 C1 und DE 297 13 448 U1) und  
30 brauchen daher nicht näher erläutert werden.

Elektrisch ist der piezoelektrische Konverter 2 an einen Wechselstromkreis eines allgemein mit dem Bezugszeichen 7 bezeichneten Ultraschall-Generators angeschlossen. In dem

Wechselstromkreis wird ein zur Anregung des Konverters 2 bestimmter Wechselstrom erzeugt, dessen Frequenz der Schwingungsfrequenz des Konverters 2 und der Sonotrode 3 entspricht und dessen Stärke für die mechanische Schwingungsamplitude der Sonotrode 3 im Bereich der Bearbeitungsfläche 5 charakteristisch ist.

5

Zur Erzeugung des Stroms im Wechselstromkreis dient ein z. B. mit Transistoren bestücktes Leistungsteil des Generators 7, das im Ausführungsbeispiel mit der Primärspule eines Transformators 12 verbunden ist und ein hochfrequentes Signal mit der gewünschten Frequenz abgibt.

10

Die Sekundärspule des Transformators 12 ist parallel zum Konverter 2, der elektrisch als Kapazität betrachtet werden kann, in den Wechselstromkreis geschaltet, wobei der Transformator 12 im Ausführungsbeispiel so dimensioniert ist, daß seine Sekundärspule eine Wechselspannung von z. B. 600 V<sub>eff</sub> erzeugt. Der Wechselstromkreis enthält vorzugsweise induktiv gekoppelte Elemente, die z. B. an Ausgängen 17 und 18 je eine elektrische Zustandsgröße liefern. Dazu ist z. B. der Ausgang 17 zur Abgabe eines Signals eingerichtet, das den im Wechselstromkreis fließenden Wirkstrom repräsentiert, während der Ausgang 18 zur Abgabe der an der Sekundärspule liegenden Wechselspannung dient.

15

20

Insgesamt ist der Wechselstromkreis mit den Elementen 2 und 12 aus Energiegründen vorzugsweise im wesentlichen als Schwingkreis ausgebildet, der vom Hersteller der Vorrichtung auf die Resonanzfrequenz des Konverters 2 abgestimmt ist und unter Normalbedingungen mit einer Frequenz von ca. 35 kHz arbeitet. Außerdem kann der Wechselstromkreis Bestandteil eines Regelkreises sein, der zusätzlich das Leistungsteil 8 enthält und die vorgewählte Schwingungsamplitude der Sonotrode 3 aufrechterhalten soll. Die Messung des Istwerts der Amplitude kann dabei über die Messung irgendeiner zweckmäßigen Größe im Wechselstromkreis des Generators 7 erfolgen.

25

30

Im übrigen wird die Sonotrode 3 immer nur dann in Schwingungen versetzt, wenn tatsächlich ein Bearbeitungszyklus durchgeführt werden soll, d. h. der Wechselstromkreis oder auch der gesamte Regelkreis wird in den Pausen zwischen zwei Bearbeitungszyklen aus- und kurz vor Beginn der nächsten Bearbeitungszyklus wieder eingeschaltet. Hierzu



wird z. B. dem Leistungsteil 8 über eine Leitung 24 ein Einschaltsignal und über eine Leitung 25 ein Ausschaltsignal zugeführt. Das bedeutet, daß der Regelkreis nach dem Einschalten zu arbeiten beginnt. Die Einschwingzeit ist dabei mit z. B. 0,5 sec normalerweise so kurz, daß die Sonotrode 3 beim Auftreffen auf das Werkstück 6 die gewünschte Schwingungsamplitude besitzt.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist der Regelkreis durch heute übliche Mikroprozessortechniken realisiert. Alternativ kann der Strom im Wechselstromkreis jedoch auf an sich beliebige, beim Ultraschallschweißen allgemein bekannte Art erzeugt werden.

Fig. 2 und 3 zeigen schematisch Einzelheiten der im Ausführungsbeispiel vorgesehenen und für Punkt-, Niet- bzw. Zapfenschweißungen geeigneten Sonotrode 3, die mittels einer nicht dargestellten Vorschubeinheit in Richtung eines Pfeils w bewegbar ist und eine Bearbeitungsfläche 29 aufweist. Im Ausführungsbeispiel ist die Bearbeitungsfläche 29 kreisrund ausgebildet und in ihrem Zentrum mit einem vorstehenden Zapfen 30 versehen. In einer den Zapfen 30 konzentrisch umgebenden Erwärmungszone 31 ist die Bearbeitungsfläche 29 mit einer konkaven Vertiefung versehen, während sie in einem diese und den Zapfen 30 konzentrisch umgebenden, äußeren Bereich eine ringförmige Auflagefläche 32 aufweist, die in Richtung des Pfeils w gegenüber dem Zapfen 30 meistens etwas zurückliegt, aber auch gegenüber dem Zapfen 30 leicht vorstehen könnte.

In Fig. 2 und 3 sind ferner zwei zu verschweißende Werkstücke 33 und 34 dargestellt. Das untere Werkstück 33 liegt bei der Durchführung eines Bearbeitungszyklus unterhalb der Sonotrode 3 z. B. auf einem nicht gezeigten Amboß auf. Es besteht außerdem aus einem thermoplastischen Werkstoff und ist auf einer Oberseite in üblicher Weise mit einem aufragenden, hier hohlzylindrischen Nietdom 35 versehen. Dagegen kann das mit einem Loch in der Größe des Nietdoms 35 versehene Werkstück 34 aus einem an sich beliebigen Werkstoff bestehen. Es wird vor dem Bearbeitungszyklus so auf das Werkstück 33 aufgelegt, daß sein Loch den Nietdom 35 aufnimmt und von diesem durchragt wird. Außerdem besitzt der Nietdom 35 eine derartige Länge, daß er um ein vorgewähltes Maß über das Werkstück 34 vorsteht, wie Fig. 2 zeigt.

Ein Bearbeitungszyklus wird dadurch eingeleitet, daß die Sonotrode 3 mittels der Vorschubeinheit in Richtung des Pfeils w bewegt wird, um ihre Bearbeitungsfläche 29 den Werkstücken 33, 34 anzunähern. Dabei ist die Anordnung im Ausführungsbeispiel so getroffen, daß zunächst der Zapfen 30 in den Hohlraum des Nietdoms 35 eintritt und die Sonotrode 3 dadurch zentriert, während daran anschließend die Oberkante des Nietdoms 35 mit der konkaven Erwärmungszone 31 in Berührung gelangt. Zu diesem Zeitpunkt oder auch schon vorher wird die Sonotrode 3 in mechanische Schwingungen versetzt, indem dem Leistungsteil 8 (Fig. 1) über die Leitung 24 ein Einschaltsignal zugeführt wird, das z. B. von einem mit der Vorschubeinheit gekoppelten Schalter oder irgendeinem anderen, mit der Bewegung der Vorschubeinheit synchronisierten Organ erzeugt wird. Durch die Anregung der Sonotrode 3 wird das mit ihrer Bearbeitungszone 31 in Berührung befindliche Material des Nietdoms 35 allmählich geschmolzen und bei weiterer Abwärtsbewegung der Sonotrode 3 in der konkaven Vertiefung aufgenommen. Im weiteren Verlauf setzt sich schließlich die Auflagefläche 32 der Sonotrode 3 auf eine ihr zugewandte Oberfläche 36 des oberen Werkstücks 34 auf (Fig. 3). Das in der konkaven Vertiefung aufgenommene Material des Nietdoms 35 wird dadurch zu einem Nietkopf 37 (Fig. 3) verformt, der sich dem an das Loch grenzenden Rand des Werkstück 34 anlegt und dieses dadurch im wesentlichen formschlüssig mit dem Werkstück 33 verbindet. Anschließend wird die Energiezufuhr zum Konverter 2 abgeschaltet und die Sonotrode 3 wieder angehoben, um einen neuen Bearbeitungszyklus zu beginnen.

Die Zufuhr von Ultraschallenergie zur Sonotrode 3 sollte möglichst genau dann unterbrochen werden, wenn sich ihre Auflagefläche 32 auf die Oberfläche 36 des Werkstücks 34 auflegt. Wird die Energiezufuhr zu früh unterbrochen, verbleibt zwischen der Oberfläche 36 und dem Nietkopf 37 ein Luftspalt, der einen nicht ausreichenden Form- bzw. Kraftschluß der Verbindung und außerdem ein unerwünschtes Spiel zwischen den Werkstücken 33, 34 zur Folge hat. Wird die Energiezufuhr zur Sonotrode 3 dagegen zu spät abgeschaltet, kann sich ihre Auflagefläche 32 in die Oberfläche 36 des Werkstücks 34 eingraben und dadurch vor allem optisch unschöne Randzonen erzeugen. Dies ist eine Folge davon, daß versucht wird, die Amplitude der Sonotrodenschwingung, die beim Aufsetzen der Auflagefläche 32 auf die Oberfläche 36 wegen der dadurch entstehenden zusätzlichen Belastung eigentlich reduziert werden sollte, über die Steuer- und Regelschaltung nach Fig. 1 im wesentlichen konstant zu halten, so daß die Auflagefläche 32 in

derselben Weise wie zuvor die Erwärmungszone 31 auf den Werkstoff des Werkstücks 34 einwirkt und diesen unkontrolliert zum Schmelzen bringt.

5 Erfindungsgemäß werden diese Probleme dadurch überwunden, daß das Ausschaltsignal in der Leitung 25 (Fig. 1) im wesentlichen genau dann erzeugt wird, wenn die Auflagefläche 32 der Sonotrode 3 mit der Oberfläche 36 des Werkstücks 34 in Berührung kommt. Hierzu wird von der Erkenntnis ausgegangen, daß sich zu diesem Zeitpunkt wenigstens eine elektrische Zustandsgröße des in Fig. 1 dargestellten Ultraschall-Generators 7 in einer charakteristischen, meßbaren und zur Erzeugung eines Ausschaltsignals verwertbaren Weise verändert.

10 Als Ausführungsbeispiel ist in Fig. 4 der Verlauf einer Kurve dargestellt, die die Abhängigkeit der in Watt ausgedrückten, dem Konverter 2 zugeführten elektrischen Wirkleistung von der in Sekunden gemessenen Zeit wiedergibt. Es sei angenommen, daß die Energiezufuhr durch ein Einschaltsignal in der Leitung 24 zu einem Zeitpunkt  $t_0$  eingeleitet werde. Die Wirkleistung  $P$  steigt dann während einer Einschwingphase, die z. B. ca. 0,5 sec dauert, längs eines Kurvenabschnitts 39 zunächst stark an, um dann zu einem Zeitpunkt  $t_1$  auf einen Kurvenabschnitt 40 abzufallen, der eine im wesentlichen konstante Höhe besitzt. Dieser Kurvenabschnitt 40 ergibt sich dann, wenn die Erwärmungszone 31 der Bearbeitungsfläche 29 der Sonotrode 3 auf den Nietdom 35 einwirkt und diesen zum Schmelzen bringt.

20 Beim Aufsetzen der Auflagefläche 32 der Sonotrode 3 auf die Oberfläche 36 des Werkstücks 34 (Zeitpunkt  $t_2$  in Fig. 4) steigt die Wirkleistung  $P$  längs eines Kurvenabschnitts 41 bis zu einem willkürlich gewählten Zeitpunkt  $t_3$  stark an, zu dem der Generator 7 ausgeschaltet wird. Das ist eine Folge davon, daß die Regelschaltung zu arbeiten beginnt, um eine konstante Schwingungsamplitude aufrechtzuerhalten.

30 Erfindungsgemäß wird dies zur Erzeugung eines Ausschaltsignals genutzt. Wie Fig. 1 zeigt, werden zu diesem Zweck die Ausgänge 17 und 18, an denen der Wechselstrom  $I$  bzw. die Wechelspannung  $U$  abgegriffen werden, an zwei Eingänge einer Multiplizierstufe 42 gelegt, in der das Produkt  $P = U \cdot I$  gebildet und an einem Ausgang 43 abgegeben wird. Der Ausgang 43 ist einerseits über eine Leitung 44 mit einem Datenspeicher 45,

andererseits über eine Leitung 46 mit einem Eingang eines Vergleichers 47 verbunden, der einen zweiten, über eine Leitung 48 mit einem Ausgang des Datenspeichers 45 verbundenen Eingang und einen mit der Leitung 25 verbundenen Ausgang besitzt. Schließlich ist die Leitung 24 über eine Leitung 49 mit einem Eingang einer Zeitsteuerung 50 verbunden, die einen über eine Leitung 51 mit einem weiteren Eingang des Datenspeichers 45 verbundenen Ausgang aufweist. Dadurch ergibt sich erfindungsgemäß die folgende Arbeitsweise:

10 Während eines Bearbeitungszyklus wird ständig die Leistung  $P$  ermittelt. Ihr jeweiliger Istwert wird sowohl dem Datenspeicher 45 als auch dem Vergleichers 47 zugeführt. Gleichzeitig bewirkt die Zeitsteuerung 50 über die Leitung 51, daß eine vorgewählte Zeitspanne ab Erscheinen des Einschaltsignals, z. B. zu einem Zeitpunkt  $t_4$ , einerseits der Vergleichers 47 aktiviert wird und andererseits der Datenspeicher 45 den zu diesem Zeitpunkt  $t_4$  vorhandenen Wert der Wirkleistung  $P$  fest übernimmt und auf den mit ihm verbundenen Eingang des Vergleichers 47 legt. Im weiteren Verlauf vergleicht der Vergleichers 47 den im Datenspeicher 45 gespeicherten Leistungswert mit dem jeweiligen Istwert, der von der Multiplizierstufe 42 abgegeben wird. Ist dieser Wert um ein vorgewähltes Maß größer als der im Datenspeicher 45 vorhandene Wert, gibt der Vergleichers 47 ein Signal ab, das als Ausschaltsignal in der Leitung 25 erscheint und die Zufuhr von 15 Ultraschall-Energie zum Konverter 2 beendet. Außerdem kann das Ausschaltsignal zum Zurücksetzen der Vorrichtung in den Ausgangszustand und zum Löschen des Datenspeichers 45 verwendet werden.

Die von der Zeitsteuerung 50 vorgegebene, vorzugsweise einstellbare Zeitspanne wird 25 mit  $t_1 < t_4 < t_2$  entsprechend Fig. 4 zweckmäßig so groß gewählt, daß der Datenspeicher 45 einen Wert der Wirkleistung  $P$  übernimmt, der sich im Bereich des Kurvenabschnitts 40 ergibt und daher für einen Zeitpunkt zwischen  $t_1$  und  $t_2$  nach Beendigung einer Einschwingzeit charakteristisch ist. Außerdem wird der Vergleichers 47 so eingerichtet, daß er das Ausschaltsignal in der Leitung 25 dann abgibt, wenn der momentane Istwert der Wirkleistung  $P$  um ein vorgewähltes Maß größer als der im Datenspeicher 45 gespeicherte Wert ist und z. B. zu einem Zeitpunkt  $t_5$  erhalten wird. Zu diesem Zweck 30 kann der Vergleichers 45 z. B. einen mit seinem Ausgang verbundenen Schwellwertschalter aufweisen. Dadurch wird sichergestellt, daß die Abschaltung der Energiezufuhr eine

vorgewählte kurze Zeitspanne nach dem Aufsetzen der Auflagefläche 32 auf die Oberfläche 36 erfolgt und Beschädigungen dieser Oberfläche 36 sicher vermieden werden. Dabei kann der Zeitpunkt  $t_5$  insbesondere dann sehr kurz auf den Zeitpunkt  $t_2$  folgen, wenn der Zeitpunkt  $t_4$  sicher im Kurvenabschnitt 40 liegt. Ohne Anwendung der Zeitsteuerung 50 müßte der Zeitpunkt  $t_5$  dagegen so gewählt werden, daß die dann vorhandene Wirkleistung  $P$  größer ist, als sie während des Einschwingvorgangs längs des Kurvenabschnitts 39 werden kann.

10 Anstatt unter Berücksichtigung des Zustandsgröße "Wirkleistung" kann die Erzeugung der Ausschaltssignale auch unter Berücksichtigung irgendeiner anderen zweckmäßigen elektrischen Zustandsgröße des Generators 7 vorgenommen werden, z. B. unter Berücksichtigung der Frequenz am Ausgang des Leistungsteils 8 oder der Phasenverschiebung zwischen dem Strom am Ausgang 17 und der Spannung am Ausgang 18. Die Bauelemente 42, 45, 47 und 50 müßten dann entsprechend angepaßt werden. Unter dem Begriff  
15 "Berücksichtigung der jeweiligen Zustandsgröße" soll dabei verstanden werden, daß die Ausschaltssignale in Abhängigkeit davon erzeugt werden, welche Änderung die Zustandsgröße nach dem Aufsetzen der Auflagefläche 32 auf das Werkstück 34 im Vergleich zum vorher stattfindenden Bearbeitungsvorgang während einer normalen bzw. als brauchbar erkannten Bearbeitungsdauer erfährt, die z. B. durch das Zeitintervall zwischen  $t_0$  und  $t_2$  in  
20 Fig. 4 definiert ist.

Erfindungsgemäß wird weiter vorgeschlagen, die Auflagefläche 32 entsprechend Fig. 5 und 6 möglichst groß auszubilden. Hierdurch wird erreicht, daß die betrachtete Zustandsgröße, hier die Wirkleistung  $P$ , beim Aufsetzen der Sonotrode 3 auf das Werkstück 34  
25 entsprechend vergrößert wird. Dies ist in Fig. 4 durch einen gestrichelt dargestellten Kurvenabschnitt 41a angedeutet, der bei Anwendung einer Sonotrode 3 nach Fig. 5 und 6 erhalten wurde, die bei sonst gleichen Abmessungen eine größere Auflagefläche 32a als eine Sonotrode 3 besitzt, die zum Kurvenabschnitt 41 führt, in Fig. 6 mit einer gestrichelten Linie 52 umrandet ist und sich zur Durchführung des gewünschten Bearbeitungsvorgangs als gerade ausreichend erwiesen hat.  
30

Die Erfindung kann mit Erfolg auch bei anderen als anhand der Fig. 2 und 3 erläuterten Bearbeitungen angewendet werden. Dies ist z. B. in Fig. 7 anhand einer Flächenschwei-

Bung angedeutet, durch die zwei Werkstücke 53 und 54 längs einander gegenüberliegender Verbindungsflächen 55, 56 und unter Anwendung einer Sonotrode 57 miteinander verbunden werden sollen, die mit einer Bearbeitungsfläche 58 auf eine ihr zugewandte Oberfläche 59 z. B. des Werkstücks 54 aufgelegt wird, wobei diese Oberfläche 59 auf der im Vergleich zur Verbindungsfläche 56 entgegengesetzten Seite des Werkstücks 54 angeordnet und z. B. durchgehend eben ausgebildet ist. Bei derartigen Schweißverfahren ist in der Regel eine der Verbindungsflächen, hier die Verbindungsfläche 55, mit einem keilförmig aufragenden, sogenannten Energierichtungsgeber 60 versehen, der aus einem thermoplastischen Material besteht. Abweichend von Figuren 2 und 3 sollte das Werkstück 54 hier aus einem vergleichsweise harten Material bestehen, damit die mechanischen Schwingungen der Sonotrode 57 nicht zu einem Schmelzen seiner Oberfläche 59 führen, sondern ein Schwingen des gesamten Werkstücks 54 mit der Folge bewirken, daß der Energierichtungsgeber 60 schmilzt und dadurch beim Absenken der Sonotrode 57 die beiden Werkstücke 53, 54 miteinander verschweißt. Bei einer solchen Bearbeitung nimmt analog zu Fig. 4 wenigstens eine elektrische Zustandsgröße des verwendeten Ultraschall-Generators in dem Moment, wo die beiden Verbindungsflächen 55, 56 aneinander liegen, stark zu oder ab, so daß dies zur Erzeugung eines Abschaltsignals ausgenutzt werden kann. In diesem Fall hat ein rechtzeitiges Abschalten der Energiezufuhr die Folge, daß sich die Sonotrode 57 nicht in die Oberfläche 59 des Werkstücks 54 eingraben kann.

Die Erfindung ist nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt, die auf vielfache Weise abgewandelt werden können. Insbesondere ist es möglich, den Verlauf der zur Erzeugung der Ausschaltssignale verwendeten Zustandsgröße in anderer Weise zu berücksichtigen, als oben anhand der Fig. 4 erläutert wurde. Beispielsweise könnte anstatt des dem Kurvenabschnitt 40 entsprechenden Absolutwerts der Zustandsgröße ein ab dem Zeitpunkt  $t_0$  oder  $t_1$  gemessener Mittelwert verwendet und ein Ausschaltssignal erzeugt werden, wenn sich der Mittelwert gegenüber dem normalen Bearbeitungszyklus merklich verändert oder wenn der Istwert der Zustandsgröße wesentlich vom Mittelwert abweicht. Außerdem ist es möglich, den Wert  $t_2$  in Fig. 4 so zu wählen, daß die Energiezufuhr nach dem Auftreffen der Sonotrode 3 auf das Werkstück 34 oder des Werkstücks 54 auf das Werkstück 53 noch eine vorgewählte Zeitlang eingeschaltet bleibt, wenn sich dies zur Erzielung eines guten Bearbeitungsergebnisses als sinnvoll erwiesen hat. Außerdem kann vorgesehen sein, daß die Abschaltung der Energiezufuhr erst dann erfolgt, wenn der Wert

der Zustandsgröße größer als irgendein Wert ist, der innerhalb einer als brauchbar  
erkannten Bearbeitungsdauer auftreten kann. Weiter sind die anhand der Figuren 2, 4  
und 7 beschriebenen Bearbeitungen und die zugehörigen Sonotrodenformen nur als  
Beispiele zu verstehen. Außerdem ist klar, daß die beschriebene Vorrichtung eine Vielzahl  
5 von Sonotroden, die in einem gemeinsamen Arbeitsgang auf eine entsprechende Vielzahl  
von Bearbeitungsstellen abgesenkt werden, und eine entsprechende Anzahl von diesen  
einzeln zugeordneten Schaltkreisen 42 bis 51 aufweisen kann. Außerdem kann die  
Erfindung analog auch beim Punktschweißen angewendet werden, in welchem Fall die  
vorgewählte Auflagefläche 32 der Sonotrode im Verhältnis wesentlich größer sein und  
10 praktisch aus der ganzen Sonotrodenunterseite bestehen kann. Auch der Generator 7 und  
der aus den Elementen 42 bis 51 gebildete Schaltkreis können anders als dargestellt  
aufgebaut sein. Schließlich versteht sich, daß die verschiedenen Merkmale auch in anderen  
als den dargestellten und beschriebenen Kombinationen angewendet werden können.

### Ansprüche

1. Verfahren zur Ultraschallbearbeitung von Werkstücken (33, 34; 53, 54) mit einem eine Sonotrode (3, 57) und einen Konverter (2) aufweisenden Schwinggebilde (1), wobei dem Konverter (2) mittels eines Ultraschall-Generators (7), der durch elektrische Einschalt- und Ausschaltsignale ein- bzw. ausgeschaltet wird, nur während der Dauer von Bearbeitungs-  
5 zyklen Ultraschallenergie zugeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausschalt-  
signale unter Berücksichtigung wenigstens einer Zustandsgröße (P) des Generators (7) erzeugt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Zustandsgröße die  
10 Frequenz des im Generator (7) fließenden Stroms, die Phasenverschiebung zwischen dem Strom und der Spannung im Generator (7) und/oder die vom Generator (7) erzeugte elektrische Ultraschall-Leistung (P) verwendet wird.
3. Vorrichtung zur Ultraschallbearbeitung von Werkstücken (33, 34; 53, 54) enthaltend:  
15 ein Schwinggebilde (1) mit einer Sonotrode (3, 57) und einem elektromechanischen Konverter (2), einen an den Konverter (2) angeschlossenen, zur Zufuhr von Ultraschallenergie bestimmten Generator (7), Mittel (24, 25) zur Erzeugung von Ein- bzw. Ausschalt-  
signalen für den Generator (7) jeweils am Anfang und am Ende von Bearbeitungs-  
zyklen und wenigstens einen Ausgang (17, 18 bzw. 43) zur Abgabe einer ausgewählten  
20 elektrischen Zustandsgröße (P) des Generators (7), dadurch gekennzeichnet, daß die Ausschalt-  
signale unter Berücksichtigung der wenigstens einen Zustandsgröße (P) erzeugbar sind.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Zustandsgröße die  
25 Frequenz des im Generator (7) fließenden Stroms, die Phasenverschiebung zwischen dem Strom und der Spannung im Generator (7) und/oder die vom Generator (7) erzeugte Wirkleistung (P) ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausgang (17,  
30 18 bzw. 43) zur Abgabe der Zustandsgröße (P) mit einem zur Abgabe der Ausschalt-  
signale bestimmten Schaltkreis (44 bis 51) verbunden ist, der die Ausschalt-  
signale immer



dann abgibt, wenn die Zustandsgröße (P) um einen vorgewählten Betrag von Werten abweicht, die sie während einer als brauchbar erkannten Bearbeitungsdauer annehmen kann.

- 5 6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausschaltsignale erzeugbar sind, wenn die Zustandsgröße (P) um einen vorgewählten Betrag von einem Mittelwert abweicht, der sich während einer als brauchbar erkannten Bearbeitungsdauer zwischen vorgewählten Zeitpunkten ergibt.

- 10 7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Schaltkreis (44 bis 51) jeweils erst eine vorgewählte Zeitlang ( $t_4$ ) nach Erscheinen der Einschaltsignale ( $t_0$ ) aktivierbar ist.

- 15 8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausschaltsignale beim Punkt-, Niet- oder Zapfenschweißen zu Zeitpunkten ( $t_s$ ) erzeugbar sind, die dem Aufsetzen einer vorgewählten Auflagefläche (32) der Sonotrode (3) auf ein zugeordnetes Werkstück (34) entsprechen.

- 20 9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausschaltsignale beim Flächenschweißen mit Energierichtungsgebern (60) zu Zeitpunkten erzeugbar sind, die dem flächigen Inberührungbringen von zwei zu verbindenden Werkstücken (53, 54) entsprechen.

- 25 10. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Auflagefläche (32a) der Sonotrode (3) größer gewählt wird, als zur Durchführung der Bearbeitung mindestens erforderlich ist.

### Zusammenfassung

Es werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ultraschallbearbeitung von Werkstücken (6) mit einem eine Sonotrode (3) und einen Konverter (2) aufweisenden Schwinggebilde (1) beschrieben. Dem Konverter (2) wird mittels eines Ultraschall-Generators (7), der durch elektrische Einschalt- und Ausschaltssignale ein- bzw. ausgeschaltet wird, nur während der Dauer von Bearbeitungszyklen Ultraschallenergie zugeführt. Erfindungsgemäß werden die Ausschaltssignale unter Berücksichtigung wenigstens einer Zustandsgröße (P) des Generators (7) erzeugt (Fig. 1).

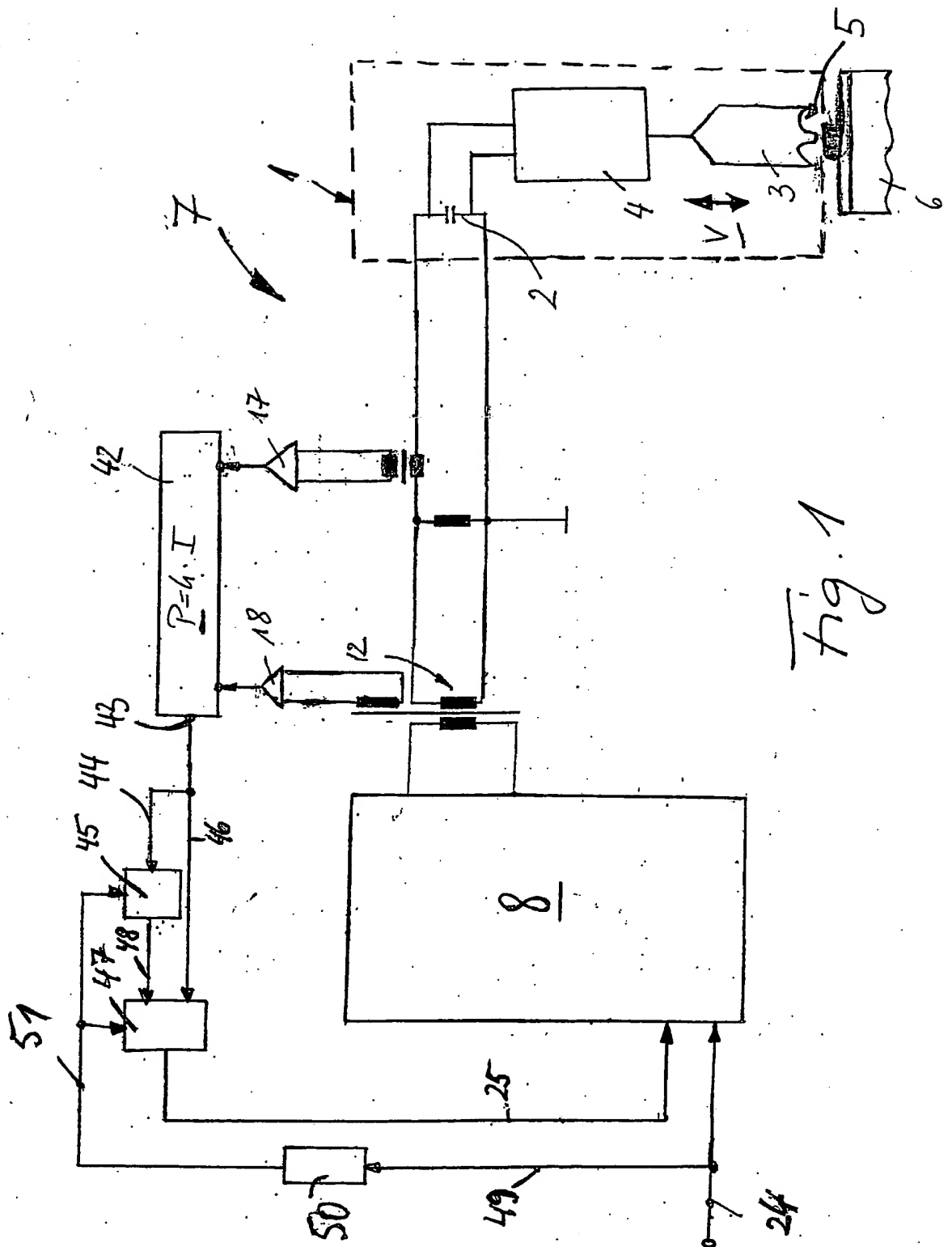


Fig. 1

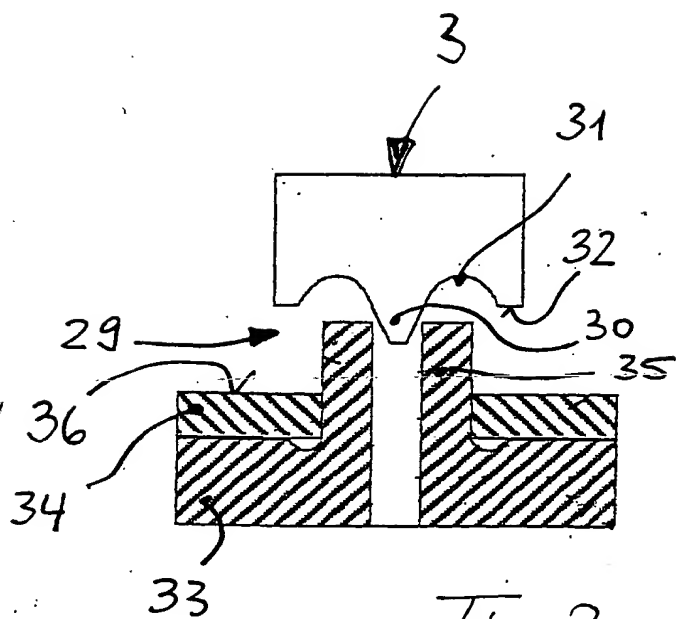


Fig. 2

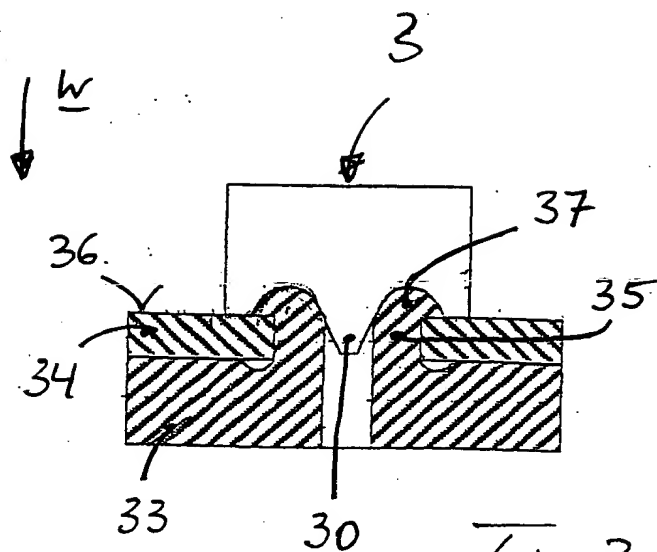


Fig. 3

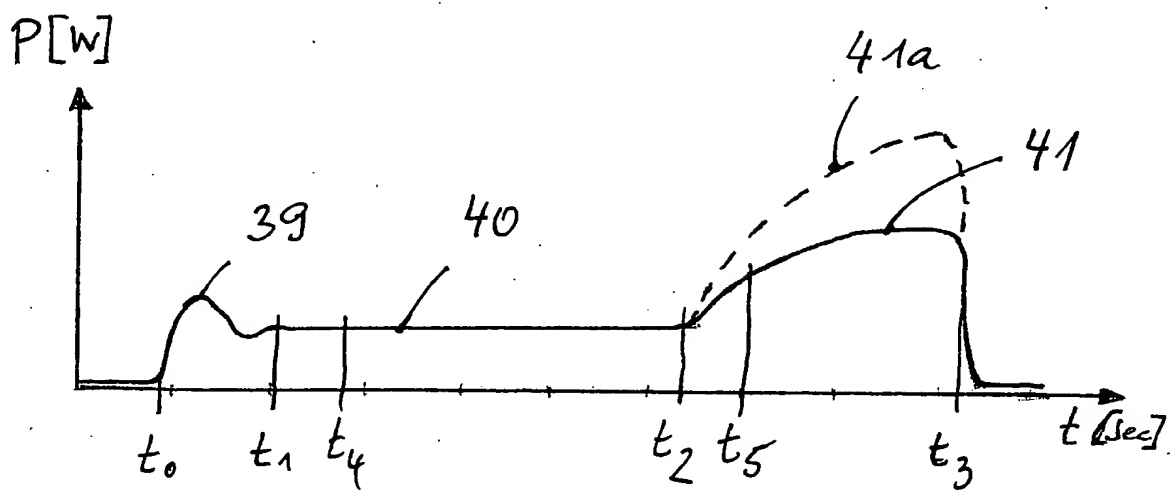


Fig. 4

